

Cuadro de mando integral para gestión del mantenimiento con enfoque sostenible en industrias del plástico

Balanced Scorecard Based on a Sustainable Approach to Maintenance Management in the Plastic Industry

MSc. Márian Pérez Pérez^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-4358-6801>

Dr. C. Ángel Tomás Pérez Rodríguez² <https://orcid.org/0000-0001-8508-2225>

Dra. C. Estrella María de la Paz Martínez³ <https://orcid.org/0000-0003-0819-9555>

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Empresariales y Administración, Universidad de Holguín, Cuba

²Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Universidad de Holguín, Cuba

³Departamento de Educación de Postgrado, Universidad Central *Marta Abreu* de Las Villas, Santa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia: marian.perez@uho.edu.cu

RESUMEN

Objetivo: Lograr el alineamiento estratégico y la mejora continua de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible a través del desarrollo de un cuadro de mando integral en la industria del plástico en Cuba.

Métodos y técnicas: Métodos teóricos: análisis y síntesis de los conceptos sobre gestión de mantenimiento con enfoque sostenible y el sistémico estructural funcional, para abordar las cualidades de este tipo de gestión. Métodos empíricos: revisión documental de las definiciones analizadas, encuestas y entrevistas. Método matemático: proceso de análisis jerárquico para el diseño del indicador que permita medir la sostenibilidad del mantenimiento.

Principales resultados: Se realizó el diseño de un procedimiento y se propuso un indicador para evaluar la sostenibilidad del mantenimiento basado en el proceso analítico jerárquico para este tipo de industria.

Conclusiones: Se demostró la necesidad del diseño de un procedimiento para la industria del plástico que permita alinear los objetivos de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible, con la de la organización a través de un cuadro de mando integral. Permite evaluar de forma efectiva la sostenibilidad de este tipo de gestión y su impacto en los grupos de interés y la sociedad.

Palabras clave: cuadro de mando integral, enfoque sostenible, gestión del mantenimiento, industria del plástico, procedimiento, proceso analítico jerárquico.

ABSTRACT

Aim: To achieve strategic alignment and continuous improvement of maintenance management based on a sustainable approach, by designing balanced scorecards in the Cuban plastic industry.

Methods and techniques: Theoretical methods: analysis and synthesis of the concepts of maintenance management based on a sustainable approach; the functional structural systemic method was used to deal with the qualities of this type of management. Empirical methods: document review of definitions analyzed, surveys, and interviews. Mathematical method: Hierarchical analytical process was used to design an indicator that enables measurement of maintenance sustainability.

Main results: A procedure was designed, and an indicator was suggested for evaluation of maintenance sustainability, based on hierarchical analytical process for this type of industry.

Conclusions: The need to design a procedure that allows for matching the objectives of maintenance management using a sustainable approach, to those of the organization, through a balanced scorecard in the plastic industry, was demonstrated. It ensures effective evaluation of sustainability of this type of management, and its impact on stakeholders and society.

Key words: balanced scorecard, sustainable approach, maintenance management, plastic industry, procedure, hierarchical analytical process.

Recibido: 17/04/2020

Aprobado: 31/03/2021

INTRODUCCIÓN

El término desarrollo sostenible se define como el desarrollo que satisface las necesidades de la sociedad actual, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987). En los últimos años se ha incrementado el interés de la comunidad científica por el estudio de la sostenibilidad debido, en gran medida, a que cada vez hay más conciencia de la necesidad de un desarrollo que no comprometa la existencia de las futuras generaciones (Plasencia, 2018). En este sentido, la actividad de mantenimiento resulta imprescindible para el correcto funcionamiento de cualquier empresa y el logro de sus objetivos. Su adecuada planificación, organización y ejecución, constituyen aspectos esenciales para poder alcanzar resultados satisfactorios, ya que esta actividad garantiza el buen funcionamiento de los activos fijos, minimizando los tiempos de parada y los costos asociados a estos. Una adecuada gestión del mantenimiento con enfoque sostenible permite el incremento de la producción, mejorando el ambiente en armonía con el desarrollo de la sociedad, por lo que resulta de vital importancia su estudio y la realización de investigaciones asociadas a su implementación.

Una de las industrias que más está afectando al medio ambiente y por tanto a la sostenibilidad, es la del plástico. El principal problema de este material es que no es biodegradable y, por tanto, demora décadas en reintegrarse a la naturaleza. La iniciativa mundial sobre el medio ambiente de la Organización de las Naciones Unidas, conocida como *Clean Seas Campaign* para reducir la basura marina, ha indicado que

más de ocho millones de toneladas de plástico acaban en el océano cada año. Este estudio arrojó que, en 2018, en Cuba fueron manejadas inadecuadamente entre 20 y cuarenta mil toneladas de plásticos (ONU, 2018).

El incremento de la demanda en Cuba, de objetos, piezas y partes componentes de plásticos, originó la creciente necesidad de crear diferentes entidades para la transformación de estos materiales. La incipiente industria cubana de los plásticos cuenta en la actualidad con 38 fábricas, de ellas 24 de envases y embalajes y 14 dedicadas a producciones varias como mangueras, tuberías y productos de higiene. El tratamiento inadecuado de los desechos que se generan en la industria transformadora de plásticos debido a problemas técnicos y de gestión, es la causa de daños medioambientales por lo que el desarrollo de ésta dependerá, en gran medida, de la implementación de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible que permita establecer objetivos alineados con el cumplimiento de sus propósitos.

Una de las herramientas más empleadas para la medición y control del desempeño y la gestión estratégica es el cuadro de mando integral (CMI), en el cual se incluye el establecimiento de indicadores, la medición, la comparación y el ajuste (Lueg & Carvalho, 2013). Fue desarrollado por Robert Kaplan y David Norton en 1992, con el propósito de traducir la visión y la estrategia de las organizaciones, en objetivos; donde se integran los resultados operacionales y estratégicos de la compañía por medio de un modelo fundamentado en indicadores de gestión financieros y no financieros, con cuatro perspectivas: la financiera, el cliente, los procesos operativos internos y el aprendizaje y crecimiento (Gutiérrez, Santis, Martínez, y Villamizar, 2019; Kaplan y Norton, 2016).

Por otra parte, las organizaciones necesitan tomar decisiones respaldadas en juicios de

valor defendibles, por lo que la valoración cuantitativa a través de la técnica de análisis multicriterio como el proceso analítico jerárquico (PAJ), permitirá determinar una solución acorde con el objetivo esperado, priorizando los indicadores de gestión claves para evaluar los procesos de gestión del mantenimiento con enfoque sostenible desde las perspectivas del CMI.

Sin embargo, aún persisten problemas en la organización del mantenimiento industrial y en la actualidad existen entidades que no tienen correctamente definida una política de mantenimiento para sus activos e instalaciones, como se corroboró en el diagnóstico realizado por el Ministerio de Industria en el año 2013, donde se concluyó que sólo el 15,5 % de los problemas identificados corresponden a la disponibilidad de recursos y falta de financiamiento; mientras el 84,5 % son de planificación, organización, gestión del mantenimiento, capacitación y dirección (Castro, 2016). Según Cárdenas y Hernández (2018) y a partir de trabajos desarrollados por los autores de esta investigación, se han evidenciado carencias en la incorporación de la sostenibilidad en las organizaciones y específicamente en el proceso de gestión del mantenimiento y en su control, por lo que el objetivo de este trabajo se enmarca en lograr el alineamiento estratégico y la mejora continua de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible a través del desarrollo de un cuadro de mando integral para la industria del plástico.

DESARROLLO

Mantenimiento con enfoque sostenible

El mantenimiento con enfoque sostenible surge como un nuevo desafío para las

empresas que buscan crear valor económico sin dañar al medio ambiente y teniendo en cuenta los aspectos sociales. Se define como las acciones o tareas de mantenimiento que promueven un equilibrio entre las dimensiones de la sostenibilidad y no solo se centra en términos financieros, como el costo de reparación y el de los materiales consumidos, sino también en aspectos ambientales, como las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía, teniendo en cuenta cuestiones sociales relacionadas con la seguridad y salud de los trabajadores, así como la satisfacción de las partes interesadas (Jasiulewicz-Kaczmarek y Żywica, 2018). En las investigaciones de Amrina, Yulianto y Kamil (2019), Franciosi, Voisin, Miranda, Riemma & lung 2020, Jasiulewicz-Kaczmarek y Żywica (2018), Nezami y Yildirim (2011) y Sari, Shaharoun, Ma'aram & Yazid (2015), se expone el concepto de mantenimiento con enfoque sostenible; sin embargo, lo hacen sin abordar con profundidad los aspectos sociales y ambientales. En un primer acercamiento al concepto, Sari *et al.* (2015) definen la gestión de mantenimiento enfocado a la sostenibilidad, como todos los procesos necesarios para asegurar la condición aceptable de los activos, mediante la eliminación del impacto ambiental negativo, la optimización en el uso de los recursos, la preocupación por la seguridad de los empleados y las partes interesadas para que, al mismo tiempo, sea económicamente viable.

Dicha gestión debe medirse, controlarse y mejorarse por lo que se necesita desarrollar un marco de medición apropiado. Algunos autores han desarrollado marcos de medición (Sénéchal, 2018; Franciosi *et al.*, 2020), pero la mayoría se concentran en el nivel funcional o de máquina, sin considerar su relación con los objetivos de la empresa. En este sentido y para que las acciones de mantenimiento promuevan un equilibrio entre las dimensiones de la sostenibilidad, se debe abordar este concepto en la

estrategia de mantenimiento y su alineación con la de la organización, lo que posibilita un mejor control de los costos de mantenimiento, mejor calidad de los productos y servicios, disminución de los impactos ambientales derivados de acciones de mantenimiento para contribuir al bienestar económico, a la salud, seguridad y educación de los empleados (Hennequin & Ramírez, 2016). Una herramienta que permite un enfoque equilibrado al considerar los aspectos financieros y no financieros en términos de partes interesadas, procesos internos y aprendizaje y crecimiento al mismo nivel, es el CMI.

Cuadro de mando integral para el mantenimiento

Una parte de la revisión bibliográfica se realizó con el fin de encontrar las perspectivas que se utilizan comúnmente para la gestión del mantenimiento de los activos e instalaciones en las empresas de producción. Según Sari *et al.* (2015) el resultado y el valor creado por el proceso de mantenimiento se deben medir, controlar y mejorar mediante el uso de un sistema adecuado de medición de su rendimiento.

Los problemas de sostenibilidad afectan todos los aspectos de la gestión de operación y mantenimiento de las organizaciones, por lo que se requiere que este enfoque se integre en el sistema de medición del rendimiento. Al anticipar este problema emergente, varios autores (Galar, Parida, Kumar, Stenström, & Berges, 2011; Jasiulewicz-Kaczmarek y Żywica, 2018; Sari *et al.*, 2015) han adoptado las dimensiones de la sostenibilidad económica, ambiental y social en lugar de considerar únicamente las perspectivas del cuadro de mando integral. Otros proponen que en vez de considerarse únicamente las cuatro perspectivas del CMI, también se considere la dimensión técnica. Algunos estudios (Galar *et al.*, 2011; Hami *et al.*, 2020; Ighravwe &

Oke, 2017; Sénéchal, 2018) se centran únicamente en la dimensión técnica o en la dimensión económica (también llamada mantenimiento ajustado o por su denominación en inglés *lean maintenance*) que enfatiza en la reducción de los costos del mantenimiento y la eliminación de residuos, y le presta menos atención a las dimensiones social y ambiental. La dimensión ecológica se concentra en aspectos económicos y medioambientales, mientras que la dimensión social at   e a garantizar la seguridad, satisfacción y comunicación de las partes interesadas del mantenimiento.

De manera general se puede apreciar que en la literatura rara vez consideran en conjunto las cuatro dimensiones del mantenimiento con enfoque sostenible: económica, técnica, ambiental y social. Stenico & Tadeu (2019) aseveran que pocas empresas adoptan el mantenimiento enfocado a la sostenibilidad porque desconocen el tema y sus beneficios. De manera similar, Jasiulewicz-Kaczmarek (2018) se  al   que los estudios sobre esta temática aún se encuentran en su etapa inicial. En consecuencia, es necesario estudiar el mantenimiento con enfoque sostenible con sus cuatro dimensiones: técnica, económica, ambiental y social.

Procedimientos para la selección de indicadores claves del desempeño para la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible

En la investigación se consideró necesario analizar los procedimientos existentes; se comenzó por los estudios realizados sobre la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible para valorar la selección de indicadores claves del desempeño y la alineación con los objetivos estratégicos de la organización a través de un CMI. Se analizaron los procedimientos planteados por los siguientes autores: Amrina *et al.* (2019), Franciosi *et al.* (2020), Kumar, Galar, Parida, Stenstroom & Berges (2013), Sari

et al. (2015), Sénéchal (2018), Jasiulewicz-Kaczmarek y Żywica, (2018). En todos se trabaja con indicadores para la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible; sin embargo, existen algunas insuficiencias en la homogenización de estos, por ejemplo, la disponibilidad se puede ver de varias maneras y esto puede ser una fuente de confusión: instantánea, promedio, disponibilidad constante, inherente, lograda o disponibilidad operacional. Otro sesgo es introducido por el horizonte temporal sobre el cual se considera el desempeño económico. Para monitorear realmente el desempeño económico de las acciones de mantenimiento, es esencial comparar esta evolución con el valor proporcionado por el equipo, en los bienes o servicios que produce y por su valor de mercado.

Los autores mencionados proponen más de setenta indicadores en tres niveles diferentes: técnico, económico y organizativo. Sólo la dimensión económica y técnica de la sostenibilidad para empresas de producción se considera explícitamente en estos trabajos, a excepción de Sari *et al.* (2015) y Sénéchal (2018). La dimensión social es considerada indirectamente a través de la seguridad del trabajador con el número de lesiones personales debidas al mantenimiento. La ambiental se considera de manera global a través del concepto de daño ambiental. En su revisión del estado del arte en los indicadores de desempeño de mantenimiento (Kumar *et al.*, 2013) encontraron que para que el mantenimiento contribuya a los objetivos estratégicos de la empresa, los referidos indicadores deben permitir que se asuman los siguientes desafíos, aspecto con el cual coinciden los autores de esta investigación: alcanzar las capacidades productivas máximas de las empresas y maximizar la disponibilidad de equipos al menor costo. Además, se considera que para una adecuada gestión del mantenimiento con enfoque sostenible en la industria del plástico, las perspectivas del cuadro de

mando integral a tener en cuenta son: financiera, satisfacción del cliente y partes interesadas, proceso interno de mantenimiento y aprendizaje y crecimiento. Las dimensiones de la sostenibilidad son las siguientes: económica, social, ambiental y técnica.

Procedimiento para la aplicación del CMI para la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible en la industria de los plásticos

El diseño del procedimiento (Fig. 1) se fundamenta en los diversos enfoques metodológicos analizados anteriormente. Está constituido por cuatro fases, trece pasos y ocho tareas, y tiene como meta alinear los objetivos de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible, con los de la organización. Acoge el enfoque basado a procesos y el ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar), por considerarse un método de probada eficacia y rentabilidad, que facilita el proyecto. Se concibe para ser aplicado a cualquier organización independientemente del grado de madurez que puedan presentar en los sistemas de gestión que posean.

Fase I: Preparación inicial

El objetivo de la primera fase es crear las condiciones necesarias para la implementación del procedimiento, así como la participación y compromiso de todos los directivos y actores implicados.

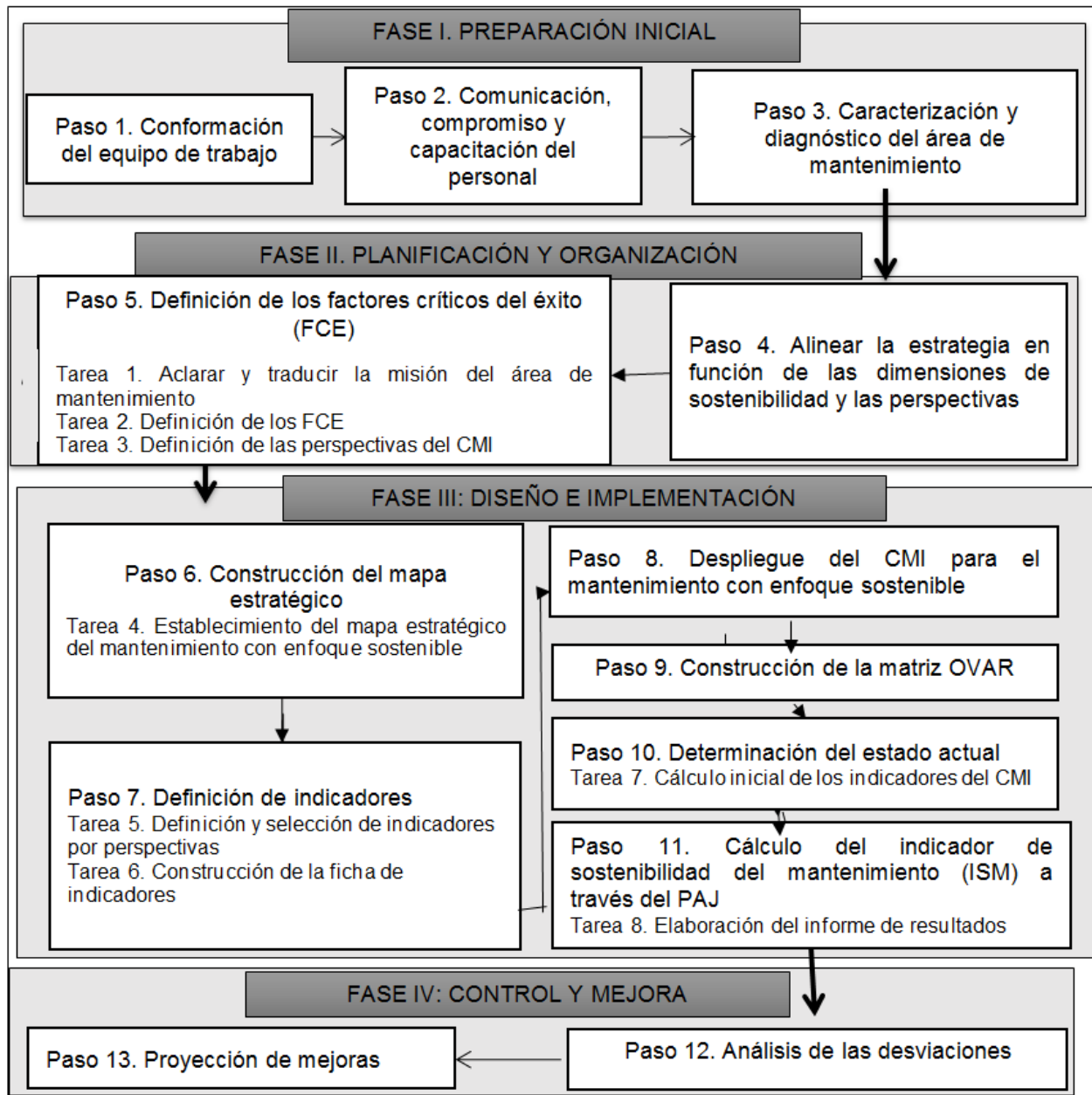


Fig 1. Procedimiento para la aplicación del CMI para la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible en fábricas de transformación de plásticos

Fuente: Elaboración de los autores

Paso 1. Conformación del equipo de trabajo

Para el equipo de trabajo deberán seleccionarse a especialistas con conocimientos generales y específicos sobre el tema. De ser necesario se realizará la capacitación de los expertos involucrados en las técnicas y métodos empleados.

Paso 2. Comunicación, compromiso y capacitación del personal

A través de los distintos canales de comunicación institucional serán informados todos los implicados en el estudio. Para la capacitación debe establecerse un vínculo con el equipo de trabajo, darle a conocer las características del procedimiento y ofrecer sus ventajas.

Paso 3. Caracterización y diagnóstico del área de mantenimiento

En este paso se debe especificar la misión, los objetivos, la estructura organizativa, las limitaciones del departamento, la plantilla del personal, las responsabilidades asignadas, las políticas empleadas y la gestión de los repuestos, proveedores y competidores, así como la clasificación como proceso de la organización. Esta caracterización debe contener: nombre y modelo del equipo, año de fabricación, lugar de procedencia, función, estado técnico y años de explotación. Además, para el diagnóstico general se debe aplicar la matriz DAFO y según las confluencias de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, se sentarán las bases para el diseño o rediseño de la estrategia del mantenimiento, debiendo quedar claro:

1. La estrategia del área de mantenimiento para que esta actividad tenga un enfoque sostenible en las fábricas de transformación de plásticos.
2. Los objetivos a lograr y su vínculo con las dimensiones de la sostenibilidad.
3. Las partes interesadas del mantenimiento con enfoque sostenible.
4. La revisión de las políticas de calidad, de medio ambiente, la visión y la misión del área de mantenimiento.

Fase II. Planificación y organización

Esta etapa tiene como propósito definir las perspectivas, dimensiones, objetivos y factores críticos del éxito para el CMI del mantenimiento con enfoque sostenible, partiendo de la aclaración y traducción de la estrategia de mantenimiento.

Paso 4. Alinear la estrategia en función de las dimensiones de sostenibilidad y las perspectivas.

Para alcanzar la alineación se hace uso de la matriz de alineación de la estrategia de sostenibilidad y el cuadro de mando integral. Esta consiste en la asociación de los objetivos que combinan las perspectivas del CMI con los cuatro pilares de la sostenibilidad. En la tabla 1 se presenta la matriz: cada celda resultante de la intersección de un pilar de sostenibilidad con una perspectiva, debe ser cubierto con al menos un objetivo y cada objetivo necesitaría, al menos, un indicador para ser medido y gestionado.

Tabla 1. Alineación de la perspectiva del CMI con las dimensiones de la sostenibilidad

Dimensiones de la sostenibilidad	Perspectiva del cuadro de mando integral			
	Financiera	Satisfacción del cliente y partes interesadas	Proceso interno de mantenimiento	Aprendizaje y crecimiento
Económica	Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4
Social	Objetivo 5	Objetivo 6	Objetivo 7	Objetivo 8
Ambiental	Objetivo 9	Objetivo 10	Objetivo 11	Objetivo 12
Técnica	Objetivo 13	Objetivo 14	Objetivo 15	Objetivo 16

Fuente: Elaboración de los autores

Paso 5. Definición de los factores críticos del éxito

Tarea 1. Aclarar y traducir la misión del área de mantenimiento

En este paso se define, en primer lugar, la misión del área (planta o taller) y a partir de esta se realiza el despliegue de los fines y directrices del departamento de mantenimiento. Esto permite el establecimiento de las métricas que, al ser alcanzadas, colaboran directamente con el fortalecimiento de la competitividad de la organización.

Tarea 2. Definición de los factores críticos del éxito (FCE)

La selección de los FCE es crucial a los efectos de identificar los aspectos que llevan al éxito o fracaso de una estrategia, así como para desarrollar los indicadores de desempeño en ellos. Estos se definen a partir de los objetivos estratégicos.

Tarea 3. Definición de las perspectivas del CMI

Kaplan y Norton (2016) proponen en su CMI cuatro perspectivas que, de conjunto, engloban la organización: financiera, clientes, procesos internos, y aprendizaje y crecimiento. Se propone la posibilidad de definir otras perspectivas diferentes, si lo considera el equipo de trabajo. La perspectiva cliente se sugiere se amplíe a partes interesadas del mantenimiento

Fase III: Diseño e implementación

Paso 6. Construcción del mapa estratégico

Tarea 4. Establecimiento del mapa estratégico del mantenimiento con enfoque sostenible

El mapa estratégico proporciona un modo simple, coherente y uniforme para describir la estrategia de una empresa. De este modo se convierte en el eslabón que faltaba entre la formulación de la estrategia y su ejecución. La vinculación entre las perspectivas y los FCE permite a la alta dirección el análisis de la estrategia de la empresa, contribuyendo a mejorar los procesos decisorios.

Paso 7. Definición de indicadores

Tarea 5. Definición y selección de indicadores por perspectivas

La revisión de la literatura permitió identificar los principales indicadores del desempeño para la evaluación del mantenimiento con enfoque sostenible en la industria transformadora de plásticos. A través de una encuesta a los expertos, se deben

seleccionar hasta 25 indicadores, cumpliendo con el requisito de elegir al menos un indicador por cada objetivo planteado en la fase II. Seguidamente, la propuesta de indicadores para la evaluación del mantenimiento con enfoque sostenible, según las dimensiones de la sostenibilidad

Dimensión económica

Indicadores: costos de las piezas de repuesto, de pérdida de la producción por fallas, de entrenamiento externo, de los materiales utilizados, de la energía empleada en el proceso de producción, del mantenimiento por máquinas, calidad en las tareas de mantenimiento (retrabajo), presupuesto del mantenimiento, salario de los empleados.

Dimensión social

Indicadores: satisfacción de las partes interesadas, cantidad de accidentes de trabajo, inversión en equipos de protección, número de innovaciones para la mejora del mantenimiento con enfoque sostenible, mejora de las competencias laborales, ambiente de trabajo seguro, nivel de comunicación con las partes interesadas, por ciento de ausencias.

Dimensión ambiental

Indicadores: eficiencia energética, cantidad de desechos generados, cantidad de multas por incumplimiento de la legislación ambiental, total de piezas de repuesto utilizadas (originales, recicladas o remanufacturadas), total de lubricantes utilizados (original, sintético o vegetal), total de consumo de agua tratada, emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂), manejo de sustancias peligrosas.

Dimensión técnica

Tiempo medio para reparar, tiempo medio entre fallas, eficiencia general de los equipos, paradas (%), horas correctivas (%), horas preventivas (%), disponibilidad,

eficacia maquina en la línea, tiempo medio entre respuesta de mantenimiento y una intervención, mantenibilidad, confiabilidad.

De acuerdo con el diseño de la encuesta, cada experto debe otorgar una evaluación ascendente de 1 a 5 puntos según la escala de Likert para seleccionar el nivel de importancia de cada indicador: 1 significa poco importante y 5 muy importante. Una vez que se otorga la puntuación a cada indicador, se calcula el índice de importancia relativa (IIR) (Hasan & Beshara, 2020) mediante la relación (1).

$$IIR = \frac{W}{A*N} = \frac{\sum_{i=1}^5 frecuencia\ del\ indicador * i}{A*N} \quad (1)$$

Donde, W es el total de peso del indicador, i es igual al peso de cada indicador por la frecuencia, A es el mayor peso igual a 5 y N es el total de encuestados o de expertos.

Una vez obtenido el IIR, los indicadores se clasifican en tres rangos: si $IIR \geq 0,8$ muy importante; si $0,8 > IIR \geq 0,6$ es medio y si $IIR < 0,6$ es poco importante.

Luego se seleccionan de cinco a seis indicadores por perspectiva, asegurando que al menos un indicador esté presente en cada una de las celdas de la Tabla 1. Así se logra una mezcla adecuada de indicadores de desempeño y resultados, al tener en cuenta que exista un balance de un 50 % entre la cantidad de ellos. El grupo de trabajo revisa los indicadores definitivos seleccionados teniendo en cuenta que no se omitan los que estén directamente relacionados con el cumplimiento de normas obligatorias.

Tarea 6. Construcción de la ficha de indicadores

En la confección de la hoja metodológica de los indicadores se debe tener presente que en cada uno se defina el nombre, la descripción corta, los valores umbrales, la fórmula de cálculo, el responsable de la medición, la unidad de medida, la frecuencia de medición y la clasificación.

Paso 8. Despliegue del CMI para el mantenimiento con enfoque sostenible

Con la información anterior se despliegan los cuadros de mando que permiten conectar el rumbo estratégico de la organización con la gestión de sus procesos. Estos se desglosan en cascada a través de toda la estructura de la organización desde la alta dirección hasta sus niveles físicos o núcleo operacional.

Paso 9 Construcción de la matriz OVAR

Para la continuidad de este paso, se aplicó la técnica gerencial de la matriz OVAR (objetivos, variables de acción y responsables) la cual permite desplegar los objetivos estratégicos hasta cada una de las áreas de la organización; así, estos son traducidos en tareas concretas a desarrollar. Deben definirse responsabilidades para su realización (Pérez, 2005).

Paso 10. Determinación del estado actual

Tarea 7. Cálculo inicial de los indicadores del CMI

En este paso, se determina el estado inicial de los indicadores del CMI y, con sus resultados, el comportamiento de los indicadores de eficiencia y eficacia.

Paso 11. Cálculo del indicador de sostenibilidad del mantenimiento a través del PAJ

El PAJ se basa en tres principios fundamentales como base para la toma de decisiones: desarrollo de jerarquías, asignación de prioridades utilizando matrices de comparación por pares y garantía de la coherencia lógica dentro de los criterios. Para el cálculo del indicador de sostenibilidad del mantenimiento (ISM) se deben seguir los siguientes cuatro pasos:

1. Construir la jerarquía de Saaty (1994). A partir de establecer las relaciones de dependencia se construye la jerarquía de las cuatro dimensiones de la sostenibilidad: con los i indicadores, con los n objetivos declarados y con la función multicriterio

(Fig. 2). Para determinar los pesos de cada dimensión de la sostenibilidad, los expertos deben comparar los objetivos por pareja según la escala de Saaty donde 1 significa igualmente preferido, 3 moderadamente más preferido, 5 poderosamente más preferido, 7 muy poderosamente más preferido, 9 extremadamente más preferido y 2; 4; 6 y 8 corresponden a valores intermedios, utilizados cuando es necesario matizar y para construir la matriz de Saaty (Tabla 2). En todos los casos, la inconsistencia tiene que ser menor que el 10 % para que se acepte el juicio de los expertos; de lo contrario se emiten nuevamente los juicios.

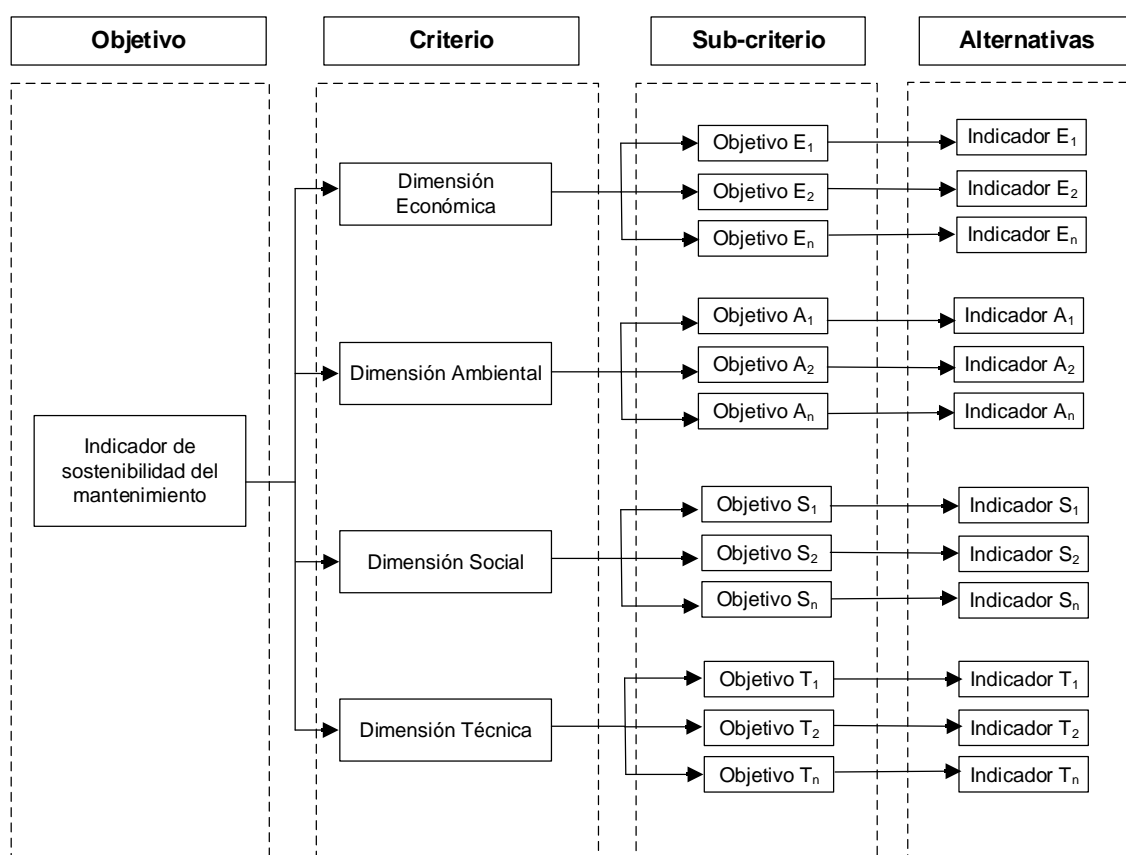


Fig. 2. Jerarquía de Saaty para el cálculo del indicador de sostenibilidad del mantenimiento

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 2. Matriz de relación de los objetivos

Dimensiones de la sostenibilidad	Económica	Ambiental	Social	Técnica	Wn
Económica	1	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	W ₁

Ambiental	x_{21}	1	x_{23}	x_{24}	w_2
Social	x_{31}	x_{32}	1	x_{34}	w_3
Técnica	x_{41}	x_{42}	x_{43}	1	w_4
Total					1

Fuente: Elaboración de los autores

Leyenda. w_n : peso de la dimensión; x_{ij} : valor según escala Saaty

2. Determinar el peso de cada objetivo por dimensión. Con la lógica similar a lo anterior, se realiza el proceso para los objetivos en relación a cada dimensión; debe hacerse el análisis tantas veces como objetivos se trabajen.

3. Determinar el peso de cada indicador por objetivos. Se realiza el proceso para los indicadores en relación a cada objetivo, debiendo hacerse el análisis tantas veces como objetivos se trabajen. Los indicadores que se incluyen son los que pertenecen a un mismo objetivo, al considerarse que su importancia para otro objetivo es nula.

4. Análisis de consistencia. Para reducir el efecto de la subjetividad de las preferencias de los individuos en la comparación por pares, se debe realizar el análisis de consistencia. Por lo tanto, se debe calcular según las ecuaciones (2) y (3):

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Donde, λ_{max} denota el vector propio máximo y n representa las dimensiones de la matriz e índice de consistencia (IC).

$RC = IC / RI$ (3) Donde, RI denota el índice aleatorio relacionado con el tamaño de la matriz.

Donde RC es razón de consistencia y RI es el índice de consistencia de una matriz aleatoria. Dado que el valor de RC debe ser menor a 0,10, se puede suponer que la matriz de juicios es razonablemente consistente. De lo contrario, los expertos deben realizar una reevaluación.

5. Determinar los pesos globales de cada indicador. Se efectúan los cálculos para determinar los pesos finales de los indicadores (ω_m) a través de la fórmula:

$$\text{Peso combinado de cada indicador (\%)} = W_x * W_y * W_z \quad (4)$$

Donde:

W_x es el peso de las dimensiones de la sostenibilidad.

W_y es el peso de las dimensiones por objetivo.

W_z es el peso de las dimensiones por indicador.

Al culminar el método PAJ de Saaty, se determina el indicador general y la fórmula a utilizar para su cálculo es $ISM = \sum_{i=1}^m (\omega_m \cdot Cu_m)$ donde el Cu_m refleja el cumplimiento del indicador m determinado por el equipo de trabajo. Esta variable es binaria, puede tomar valor 0 si el resultado del indicador no se corresponde con el estado deseado (no cumple con el criterio de medida) y valor 1, en caso contrario.

Tarea 8. Elaboración del informe de resultados

Se elabora el informe con los resultados de cada indicador teniendo en cuenta si se cumplen o no.

Fase IV: Control y mejora

Paso 12. Análisis de las desviaciones

Referente a las desviaciones, debe analizarse su importancia, el impacto, su frecuencia y ocurrencia

Paso 13. Proyección de mejoras

Una vez analizadas las desviaciones se deben tomar las acciones proactivas, preventivas y correctivas implementadas y su efectividad. Para su elaboración, se deben tener en cuenta el contenido de la acción que se ejecutará, el personal encargado de ejecutar y dirigir, y las fechas y plazos de ejecución y control, así como los materiales a utilizar.

CONCLUSIONES

En las investigaciones analizadas se evidenció que la propuesta de indicadores para medir la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible se basa en aspectos técnicos y económicos, sin tener en cuenta las dimensiones social y ambiental.

Se diseñó un procedimiento compuesto por cuatro fases, trece pasos y ocho tareas, cuyo propósito es alinear los objetivos de la gestión del mantenimiento con enfoque sostenible, con la de la organización. Este acoge el enfoque basado en procesos y el ciclo PHVA y está concebido para ser aplicado a cualquier empresa de transformación de materiales plásticos, independientemente del grado de madurez que pueda presentar en sus sistemas de gestión.

Se construyó la jerarquía de Saaty para el cálculo del indicador de sostenibilidad del mantenimiento basado en el proceso analítico jerárquico. Se propusieron los indicadores según las cuatro dimensiones de la sostenibilidad para la industria del plástico.

REFERENCIAS

Amrina, E., Yulianto, A., y Kamil, I. (2019). Fuzzy Multi Criteria Approach for Sustainable Maintenance Evaluation in Rubber Industry. *Procedia Manufacturing*, 33, 538-545.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.067>

- Cárdenas, J. y Hernández, R. (2018). *El mantenimiento industrial en Cuba y su importancia actual*. Recuperado de <http://monografias.umcc.cu/monos/2018/FCE/mo18253.pdf>
- Castro, Y. (7 de julio de 2016) Los puntos sobre las íes de la industria. *Granma*. Recuperado de <http://www.granma.cu/cuba/2016-07-07/los-puntos-sobre-las-ies-de-la-industria-07-07-2016-22-07-30>
- Franciosi, C., Voisin, A., Miranda, S., Riemma, S. & lung, B. (2020). Measuring maintenance impacts on sustainability of manufacturing industries: from a systematic literature review to a framework proposal. *Journal of Cleaner Production*, 260, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121065>
- Galar, D., Parida, A., Kumar, U., Stenström, C. & Berges, L. (2011). Maintenance metrics: A hierarchical model of balanced scorecard. *International Conference on Quality and Reliability*, Bangkok, Thailand. doi: <https://doi.org/10.1109/ICQR.2011.6031683>
- Gutiérrez, E., Santis, P., Martínez, N. y Villamizar, M. (2019). Modelo de indicadores para evaluar estratégicamente la gestión de activos de I + D a partir de la técnica Proceso de Jerarquía Analítica. *Espacios*, 40(3), 7-29. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a19v40n03/a19v40n03p07.pdf>
- Hami, N., Shafie, S. M., Omar, S., Ibrahim, Y. M., Sabah, A. S., & Mohd, R. M. (2020). A Review of Sustainable Maintenance in the Manufacturing Companies. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(3), 935-944. Recuperado de <http://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/4950>
- Hasan, S. & Beshara, I. (2020). Sustainable Maintenance Model for Infrastructure in Egypt. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 14(7), 207-214.

Recuperado de <https://publications.waset.org/10011310/sustainable-maintenance-model-for-infrastructure-in-egypt>

Hennequin, S. & Ramírez, L. M. (2016). Fuzzy model of a joint maintenance and production control under sustainability constraints. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1216-1221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.676>

Ighravwe, D. E. & Oke, S. A. (2017). Ranking maintenance strategies for sustainable maintenance plan in manufacturing systems using fuzzy axiomatic design principle and fuzzy-TOPSIS. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 8(7), 961-992. doi: <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2017-0007>

Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2018). Identification of maintenance factors influencing the development of sustainable production processes – a pilot study. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 400(6), 1-16. doi: 10.1088/1757-899X/400/6/062014

Jasiulewicz-Kaczmarek, M. y Żywica, P. (2018). The concept of maintenance sustainability performance assessment by integrating balanced scorecard with non-additive fuzzy integral. *Maintenance and Reliability*, 20(4), 649–660. doi: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.4.16>.

Kaplan, R. S. y Norton, D. P. (2016). *El cuadro de mando integral: The balanced scorecard* (3ra ed.). Barcelona, España: Ed. Gestión 2000.

Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C. & Berges, L. (2013). Maintenance performance metrics: a state of the art review. *Journal of Quality Maintenance Engineering*. 19(3), 233-277. doi: <http://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0029>

Lueg, R. & Carvalho, A. L. (2013). When one size does not fit all: a literature review on the modifications of the balanced scorecard. *Problems and Perspectives in*

Management, 11(3), 61-69. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/272094055_When_one_size_does_not_fit_all_a_literature_review_on_the_modifications_of_the_Balanced_Scorecard

Nezami, F. & Yildirim, M. (2011) A framework for a fuzzy sustainable maintenance strategy selection problem. En *IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, Chicago, Estados Unidos.

ONU (2018, 8 de junio) *¿Cómo es la contaminación de los océanos en la actualidad?* TteleSURtv.net. Recuperado de <https://www.telesurtv.net/news/contaminacion-oceanos-consecuencias--20180607-0053.html>

Pérez, M. (2005). *Contribución al control de gestión en elementos de la cadena de suministros. Modelo y procedimientos para organizaciones comercializadoras* (Tesis doctoral). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Recuperado de <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>

Plasencia, J. A. (2018). *Modelo para contribuir a la sostenibilidad de entidades de las tecnologías de la información y las comunicaciones desde la gestión estratégica* (Tesis doctoral). Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba. doi: 10.13140/RG.2.2.34361.83044.

Saaty, T., (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/25061950>

Sari, E., Shaharoun, A., Ma'aram, A. & Yazid, A. M. (2015). Sustainable Maintenance Performance Measures: A Pilot Survey in Malaysian Automotive Companies. *Procedia CIRP*, 26, 443-448. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.163>

- Sénéchal, O. (2018). Performance indicators nomenclatures for decision making in sustainable conditions based maintenance. *IFAC PapersOnLine*, 51(11), 1137-1142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.438>
- Stenico De Campos, R. & Tadeu, A. (2019). Insertion of sustainability concepts in the maintenance strategies to achieve sustainable manufacturing. *Independent Journal of Management and Production*, 10(6), 1908-1931. doi: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v10i6.939>
- World Commission on Environment and Development (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

Declaración de conflicto de interés y conflictos éticos

Los autores declaramos que el presente manuscrito es original y no ha sido enviado a otra revista. Los autores somos responsables del contenido recogido en el artículo, y en él no existen: ni plagios, ni conflictos de interés, ni éticos.

Declaración de contribuciones de los autores

Márian Pérez Pérez. Diseño del procedimiento, redacción - borrador original (igual), análisis formal.

Ángel Tomás Pérez Rodríguez. Redacción - borrador original (igual), revisión bibliográfica sistemática.

Estrella María de la Paz Martínez. Redacción - borrador original (igual), análisis de resultados y conclusiones.